

免费提供

精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233
www.huatengzy.com

X线检查技术

X XIAN JIANCHA JISHU

策划编辑: 宁航
责任编辑: 张楠
封面设计: 刘文东



定价: 49.80元

医药卫生职业教育校企“双元”创新教材

X线检查技术

主编 郑维宇 姜风

吉林科学技术出版社

医药卫生职业教育校企“双元”创新教材

X线检查技术

X XIAN JIANCHA JISHU

主编 郑维宇 姜风

校企合作, 凸显技能型人才培养目标
理实一体, 融入资格考试大纲内容
图、文、视频结合, 易学易懂, 学练相通

吉林科学技术出版社

医药卫生职业教育校企“双元”创新教材

X线检查技术

X XIAN JIANCHA JISHU

主 编 郑维宇 姜 风
副主编 张 刚 佟继禹
编 者 (按姓氏笔画排序)
王 浩 (铁岭县中心医院)
李 琳 (铁岭卫生职业学院)
李奕霏 (铁岭卫生职业学院)
佟继禹 (通用中铁富阳医院)
张 刚 (鞍山市中心医院)
郑维宇 (铁岭卫生职业学院)
赵金鹏 (铁岭县中心医院)
姜 风 (铁岭县中心医院)
祝 健 (铁岭卫生职业学院)
詹俊松 (铁岭卫生职业学院)

 吉林科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

X线检查技术 / 郑维宇, 姜风主编. -- 长春 : 吉林
科学技术出版社, 2024. 12. -- ISBN 978-7-5744-1961
-2

I. R814

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 202520ZW76 号

X线检查技术

X XIAN JIANCHA JISHU

主 编 郑维宇 姜 风
出 版 人 宛 霞
责任编辑 张 楠
封面设计 刘文东
制 版 刘文东
幅面尺寸 185mm×260mm
开 本 16
字 数 331 千字
印 张 16
版 次 2024 年 12 月第 1 版
印 次 2024 年 12 月第 1 次印刷

出 版 吉林科学技术出版社
发 行 吉林科学技术出版社
地 址 长春市南关区福祉大路 5788 号出版大厦 A 座
邮 编 130118
发行部电话/传真 0431-81629529 81629530 81629531
81629532 81629533 81629534
储运部电话 0431-86059116
编辑部电话 0431-81629510
印 刷 三河市龙大印装有限公司

书 号 ISBN 978-7-5744-1961-2
定 价 49.80 元

版权所有 翻印必究 举报电话: 0431-81629508

前言

PREFACE

党的二十大报告指出：“深化教育领域综合改革，加强教材建设和管理，完善学校管理和教育评价体系，健全学校家庭社会育人机制。”本教材属于校企合作教材，旨在结合临床医学影像技术发展情况和在校学生的学习特点，促进学生的个性发展，培养符合临床医学影像技术需要的技能型人才。

X线检查技术是医学影像技术专业的核心课程之一，以临床实际操作为依托组织教学。本教材结合实际操作流程和特点，并围绕放射医学技术资格考试大纲组织内容，全书除绪论外共有五章，具体内容包括X线摄影成像原理、X线检查基础知识、胶片冲洗及数字化影像打印、X线摄影检查技术、X线造影检查。

本教材的编写团队由临床影像医师、影像技师及学校影像和临床相关专业教师组成，充分体现了校企合作的特点。本教材为满足培养临床医学影像技术人才的需要，力求使学生全面具备医学影像技术人员所需的技术能力。本教材图文并茂，结构合理，易学易懂，其“单元测试”部分能够满足学生课后学习的需求。

本教材建议学时为64学时，其中理论占32学时，实践占32学时，理论与实践学时比例为1:1。建议学时分配如下表。

表 学时分配

教学内容	理论学时	实践学时
第一章 X线摄影成像原理	8	0
第二章 X线检查基础知识	6	0
第三章 胶片冲洗及数字化影像打印	4	2
第四章 X线摄影检查技术	8	26(见习16)
第五章 X线造影检查	6	4
总学时	32	32



本教材由铁岭卫生职业学院郑维宇和铁岭县中心医院姜风任主编,鞍山市中心医院张刚和通用中铁富阳医院佟继禹任副主编。铁岭县中心医院王浩和赵金鹏,铁岭卫生职业学院李琳、李奕霏、祝健和詹俊松参与编写。

本教材的编写得到了医院临床技师、医师的大力支持,编者在编写过程中参考了许多医学影像技术方面的资料,无法一一列出,在此谨向相关人员和作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,教材中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目录

CONTENTS



绪论	1
一、X线检查技术的概念	1
二、X线的发现	1
三、X线检查技术的发展历程	2
四、医学影像技术人员的岗位职责	4
第一章 X线摄影成像原理	5
第一节 模拟X线摄影成像原理	5
一、模拟X线成像的基本过程	6
二、X线束与X线管焦点	8
第二节 影响X线影像的因素	13
一、相关基本概念	13
二、摄影设备对影像的影响	23
三、曝光条件对影像的影响	29
四、被照体对影像的影响	31
第三节 数字X线摄影成像原理	32
一、计算机X线摄影	32
二、数字化X线摄影	41
第二章 X线检查基础知识	53
第一节 医学影像技术人员的服务工作	53
一、与患者的沟通	54
二、对患者的接待	56
三、患者的移动	56
第二节 X线检查的体位命名及影像信息标记	59
一、人体解剖学姿势及方位	59
二、X线检查的体位	61



三、X线检查影像信息的标记	63
● 第三节 X线摄影的工作流程及设备操作	65
一、X线摄影的工作流程	66
二、屏-片系统的基本操作	66
三、计算机X线摄影系统的基本操作	66
四、数字化X线摄影系统的基本操作	67
● 第四节 X线摄影条件的选择	69
一、感光效应	69
二、影响感光效应的主要因素	70
三、X线摄影条件的制定	73
四、数字X线摄影条件的选择	75
● 第五节 X线检查的基本原则	76
一、辐射防护原则	77
二、患者隐私的保护原则	78
三、医疗事故的预防与处理原则	78

第三章**胶片冲洗及数字化影像打印****82**

● 第一节 医用X线胶片与增感屏	82
一、医用X线胶片	82
二、增感屏	88
● 第二节 胶片感光、冲洗及影像打印	91
一、模拟X线摄影胶片的感光原理	91
二、胶片冲洗	93
三、数字化影像打印	94

第四章**X线摄影检查技术****105**

● 第一节 四肢摄影	105
一、四肢体表定位标志	105
二、四肢摄影要求	106
三、四肢摄影常用体位	107
● 第二节 头颅摄影	129
一、头颅体表定位标志	129
二、头颅摄影要求	130
三、头颅摄影常用体位	131
● 第三节 脊柱摄影	137
一、脊柱体表定位标志	137
二、脊柱摄影要求	138



三、脊柱摄影常用体位	138
● 第四节 胸部摄影	147
一、胸部体表定位标志	147
二、胸部摄影要求	148
三、胸部摄影常用体位	148
● 第五节 腹部摄影	154
一、腹部体表定位标志	154
二、腹部摄影要求	155
三、腹部摄影常用体位	156
● 第六节 乳腺摄影	161
一、乳腺摄影概述	161
二、乳腺摄影要求	164
三、乳腺摄影常用体位	165
四、乳腺数字 X 线摄影	167
五、乳腺其他摄影	168
六、乳腺摄影的质量控制	169
● 第七节 口腔摄影	171
一、牙齿的解剖结构	171
二、牙齿摄影要求	173
三、牙齿摄影技术	175
四、口腔全景曲面体层摄影	180
五、口腔锥形束 X 线计算机断层扫描	182
六、口腔摄影的质量控制	183
● 第八节 急诊摄影	184
一、急诊摄影要求	184
二、急诊摄影的临床应用	185

第五章**X 线造影检查****194**

● 第一节 X 线对比剂概述	195
一、对比剂分类	195
二、常用对比剂的性质及临床应用	197
三、对比剂引入人体的方法	200
● 第二节 X 线造影的不良反应及处理	201
一、碘过敏试验的方法及评估	201
二、碘对比剂不良反应的临床表现	202
三、签署碘对比剂使用知情同意书	203
四、对比剂肾病	204



五、碘对比剂禁忌证	204
六、碘对比剂不良反应的预防及处理	205
● 第三节 消化系统造影	207
一、食管造影	207
二、胃及十二指肠造影	209
三、小肠造影	212
四、结肠造影	215
● 第四节 泌尿系统造影	217
一、静脉肾盂造影	218
二、逆行尿路造影	221
● 第五节 女性生殖系统造影	225
一、女性生殖系统造影的适应证	225
二、女性生殖系统造影的禁忌证	225
三、女性生殖系统造影的对比剂	226
四、女性生殖系统造影前准备	226
五、女性生殖系统造影技术	226
六、女性生殖系统造影影像显示	226
● 第六节 其他造影	227
一、乳腺导管造影	227
二、T形管胆道造影	228
三、术中胆道造影	229
四、经皮穿刺肝胆道成像	231
五、小儿肠套叠空气灌肠复位	233
六、窦道/瘘管造影	234
● 第七节 数字减影血管造影	236
一、数字减影血管造影的适应证	236
二、数字减影血管造影的禁忌证	236
三、数字减影血管造影前准备	236
四、数字减影血管造影设备的结构及性能	237
五、数字减影血管造影的成像方式	239
六、数字减影血管造影的减影方式	240
七、数字减影血管造影图像采集	241
八、数字减影血管造影的临床应用	241



第一章

X 线摄影成像原理



学习目标

掌握:X 线管焦点的概念,光学密度,照片密度,照片对比度、锐利度、颗粒度以及失真度的基本概念,散射线对照片的影响,计算机 X 线摄影、数字化 X 线摄影的成像原理及工作流程。

熟悉:X 线束的特点,影响照片密度、对比度、锐利度、颗粒度以及失真度的因素,抑制和消除散射线的方法,滤线栅的主要性能参量及使用,成像板的结构及特性,直接和间接平板探测器的结构特点,影响计算机 X 线摄影、数字化 X 线摄影影像质量的因素。

了解:计算机 X 线摄影、数字化 X 线摄影的发展及临床应用,电荷耦合探测器和多丝正比电离室摄影设备的结构及成像原理。



素养目标

培养求真务实、积极探索、勇于创新的钻研精神。

第一节 模拟 X 线摄影成像原理

X 线能使人体组织在荧屏上或胶片上形成影像,一方面基于 X 线的穿透性、荧光效应和感光效应;另一方面基于人体组织之间有密度和厚度的差别。X 线透过人体的不同组织结



构时被吸收的程度不同,所以到达荧光屏或胶片上的 X 线量也有所差异。这样,在荧光屏或胶片上就形成了明暗或黑白对比不同的影像。

经感光的胶片,通过胶片的冲洗(显影、定影、水洗、晾干),在胶片上形成 X 线影像,此过程为 X 线摄影检查(图 1-1)。荧光屏产生不同亮度的荧光,就形成了传统 X 线透视影像,此过程为 X 线透视检查(图 1-2)。

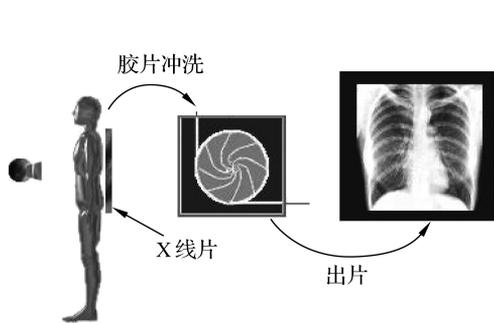


图 1-1 模拟 X 线摄影

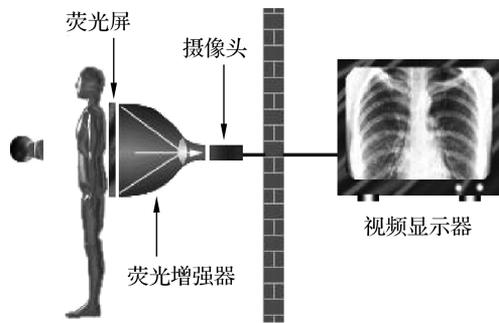


图 1-2 模拟 X 线透视

模拟 X 线成像一旦形成,就不能对影像进行任何改变,所以对摄影条件和冲洗条件要求比较严格。模拟 X 线成像最大的缺点是影像密度和对比的动态范围局限,其影像信息又为模拟量,所以不能利用计算机进行处理,更不能进行后处理。随着数字影像技术的发展,模拟 X 线成像技术已被数字成像技术所取代。

一、模拟 X 线成像的基本过程

模拟 X 线成像的基本过程:放射源(X 线)—被检体(患者)—影像接收器(屏-片系统或影像增强器)—暗室冲洗(或产生荧光)—显示图像(胶片影像或荧光影像)。



视频

X 射线是如何产生的

X 线影像的形成必须具备以下三个基本条件:第一,X 线具有一定的穿透力,能穿透人体的组织结构;第二,被穿透的组织结构存在密度和厚度的差异,X 线在穿透过程中被吸收的量不同,导致透过被检部位的 X 线量也有所不同;第三,利用显像装置,如利用胶片、荧光屏显示出来,就能获得具有黑白对比、层次差异的 X 线图像。

(一)放射源(X 线)

在模拟 X 线成像中,X 线是获取人体组织结构信息的载体,在成像中起着至关重要的作用。

X 线与可见光、红外线、紫外线一样同属于电磁波,只不过 X 线的频率较高,为 $3 \times (10^{16} \sim 10^{20}) \text{ Hz}$;波长很短,介于紫外线和 γ 射线之间,为 $0.001 \sim 10 \text{ nm}$ 。X 线的产生是阴极灯丝发射出的高速电子束和阳极靶面相互作用的结果。在真空条件下,高达千伏的电场产生的高速电子流与靶物质的原子核和内层轨道电子相互作用,分别产生连续 X 线和特征 X 线。从 X 线管发出的 X 线束与靶面物质的原子序数(Z)、管电流(mAs)、管电压(kV)及高压波形有关。

在 X 线成像中,当管电压一定时,X 线管发出的 X 线束的强度(I_0)是基本均匀的。穿过

人体不同组织时,由于各种组织对 X 线的衰减程度不同,导致透过各种组织到达影像接收器 (image receptor, IR) 的 X 线强度 (I) 不同,致使影像信息也不同。因此,可以说 X 线是人体组织结构信息的载体,光子能量越大, X 线的波长越短,穿透物质的能力越强。X 线对人体不同组织穿透性能的差别是 X 线摄影和透视成像的基础。

(二) 被检体(患者)

人体由骨、肌肉、脂肪等组织构成,各组织结构因原子序数、组织密度(ρ)、厚度(d)不同而形成了不同的 X 线衰减系数(μ)。成像时,X 线(入射 X 线)进入被检部位后,一部分被人体组织结构吸收和散射,另一部分透过人体(透射 X 线),沿原方向传播。其传播符合指数衰减规律,表达式如下:

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

式中, I 为透射 X 线强度; I_0 为入射 X 线强度; μ 为 X 线衰减系数; d 为穿透物质厚度。

X 线通过人体的衰减规律一般采用单能窄束 X 线的指数衰减规律。当 X 线的衰减以光电吸收为主时,X 线的衰减系数与人体组织的原子序数和密度存在如下关系:

$$\mu = K\lambda^3 Z^4 \rho$$

人体不同组织结构的原子序数和密度不同,X 线的线性衰减系数也不同。

在 X 线检查中,人体组织结构大致可分为骨、肌肉和脂肪,部分组织结构中含有空气。人体组织结构及空气对 X 线的衰减按骨、肌肉、脂肪、空气的顺序逐渐减弱。一些组织比其他组织能衰减更多的 X 线,这种衰减差异的大小就形成了 X 线影像的对比度,然后通过各种影像接收器,进而形成可见的 X 线影像(图 1-3)。

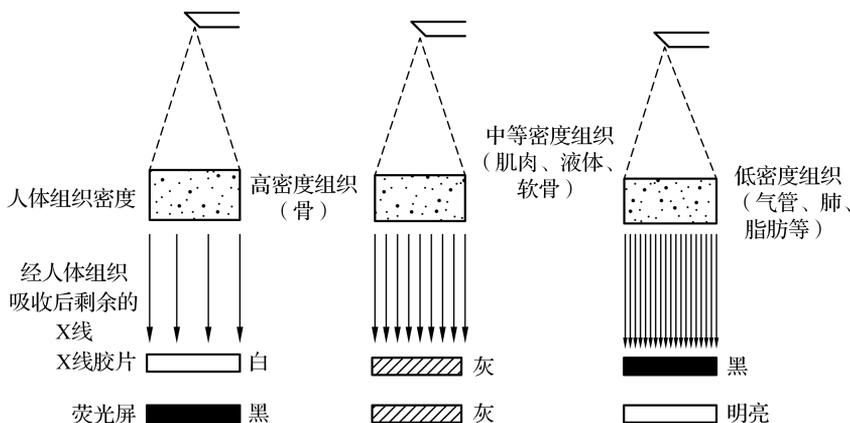


图 1-3 不同人体组织结构的衰减特点

(三) 影像接收器

模拟 X 线成像的影像接收器为屏-片系统或影像增强器(I. I)系统。

(1) 屏-片系统由增感屏与 X 线胶片组合而成。屏-片系统使胶片感光形成潜影,通过冲洗处理形成照片影像。

(2) 透视的影像接收器是荧光屏或影像增强器系统。荧光颗粒在 X 线的激发下产生不同的荧光强度,形成透视影像。



二、X 线束与 X 线管焦点

(一) X 线束

1. X 线束的形状

X 线管阴极灯丝产生的电子束撞击阳极靶面所产生的 X 线是按一定规律向各个方向发射的,但由于阳极结构的自身吸收以及 X 线管套和窗口的限制,实际上 X 线管发出的 X 线是以阳极靶面的实际焦点为中心的锥形射线束(图 1-4)。

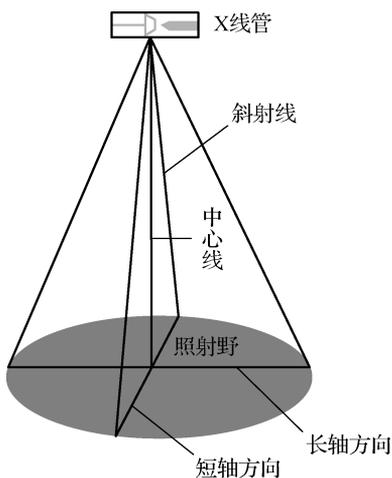


图 1-4 X 线束

X 线束中心部分的射线称为中心线。中心线垂直于窗口平面,是用来确定摄影方向的。一般情况下,中心线应通过被检部位的中心并垂直于影像接收器。在一些部位的摄影中,技术人员也会使中心线倾斜一定角度,经被检部位射入影像接收器。X 线束中除中心线以外的 X 线均称为斜射线。在某些特殊体位摄影时,偶尔会利用斜射线作为中心线进行摄影,以减少肢体影像的重叠。例如,手后前位、小腿前后位等摄影时,中心线应通过被检部位的中心垂直射入影像接收器;而第 3~7 颈椎前后位、骶尾骨前后位、柯氏位等,中心线需要倾斜一定角度,经被检部位中心射入影像接收器。

由于 X 线是具有直进性的锥形射线束,所以 X 线摄影的影像势必产生放大。而影像放大率的大小对影像的质量和观察效果都有很大的影响。

2. X 线束的量与质

X 线束的能量是影响感光效应的根本因素。X 线束能量的大小取决于 X 线光子的数量以及单个 X 线光子的能量的大小。

(1) X 线的量。X 线的量用于描述 X 线光子的数量。X 线量的多少是由管电流决定的,即曝光时管电流(mA)与曝光时间(s)的乘积。因此,管电流越大和(或)曝光时间越长,X 线量越大,X 线束的总能量就越大,感光系统的感光效应就越明显。

(2) X 线的质。X 线的质用于描述单个 X 线光子能量的大小。X 线的质取决于管电压的大小,管电压值越高,单个 X 线光子的能量就越大,X 线束的总能量也就越大,波长越短。

X线的质决定了X线的穿透能力,故临床上常用“X线的硬度”来描述X线的质。

X线束中光子的能量大小不一、波长不等,是一种混合能量的射线束。射线束中单个光子的最大能量从理论上应等于所用管电压值的电子伏特数。例如,使用100 kV管电压所得到的最大光子能量就是100 keV。

3. X线的线量分布

X线束在照射野内的线量分布是不均匀的。照射野是指通过X线管窗口的X线束入射于成像介质的曝光面大小。若用一块厚为1.0 mm的铅板,在上面加工几排平行的针孔,并将此铅板置于焦点和胶片正中,用适当的条件进行曝光,便可得到一张多个焦点针孔像的照片。

(二)X线管焦点

1. 焦点的概念

X线管焦点是产生X线的区域。焦点的大小、形状及线量分布是X线管焦点成像性能的主要参量。在X线成像系统中,对X线成像质量影响最大的因素之一就是X线管的焦点。因此,实际工作中对X线管的焦点要求比较严格。焦点的大小除与X线机本身的设计有关外,还与焦点的投影方位及使用的曝光条件等因素有关。

(1)实际焦点。实际焦点是指灯丝发射的电子经聚焦后在靶面上的瞬间轰击面积(图1-5)。目前,医学诊断用X线球管的灯丝均绕成螺管状,灯丝发射的电子经聚焦后,以细长矩形轰击在靶面上,形成细长矩形的焦点,故称为线焦点。

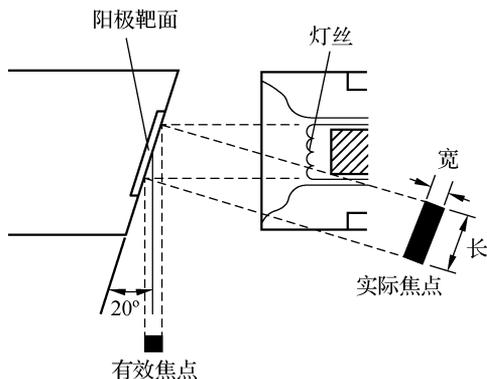


图 1-5 实际焦点和有效焦点

实际焦点的大小(一般指宽度)主要取决于聚焦罩的形状、宽度和深度。实际焦点越大(受轰击的靶面积越大,可承受的功率值就越大),X线管的容量就越大,曝光时间就越短。

在电场的作用下,实际焦点面上的电子密度分布不同,其X线辐射强度的分布呈单峰、双峰甚至多峰型,在同样焦点尺寸的情况下,焦点中央辐射强度越强,其影像分辨力越高;其次为矩形分布;最差为双峰分布。医学诊断用X线管的焦点一般呈双峰分布。

(2)有效焦点。X线管阳极靶面具有一定的倾斜角度,即阳极倾角。它是阳极靶面与X线管长轴的垂直面所构成的夹角,用 θ 表示。一般阳极倾角为 $17^\circ \sim 20^\circ$ 。由于靶面的倾



斜,实际焦点的投影在不同方位上的大小是不一致的,人们把实际焦点在空间各个方向上的投影面积称为 X 线管的有效焦点。有效焦点的大小对 X 线成像质量的影响很大。作为 X 线管焦点成像性能的参量之一,人们通常把实际焦点在 X 线管长轴垂直方向上的投影称为 X 线管的标称有效焦点或有效焦点标称值。有效焦点约为一个矩形,其大小可用 $a \times b \sin\theta$ 来表示。其中, a 为焦点的宽, b 为焦点的长, θ 为阳极倾角。

1982 年,国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)规定,有效焦点的标称值采用无量纲制(如 2.0、1.0、0.3 等)来表示有效焦点的大小,此数字称为有效焦点的标称值。另外,由于焦点面上的线量分布是不均匀的,故在描写焦点成像性能时又用“等效焦点”来描述。

阴极灯丝在聚焦槽内的位置对阴极电子流的流动以及焦点的形成具有重要作用。从灯丝正面发射出的电子先发散后会聚,撞击阳极靶面形成主焦点;从灯丝侧方发射的电子先发散后会聚再发散,撞击阳极靶面形成副焦点。主焦点与副焦点共同形成实际焦点。在聚焦槽中,灯丝的深度与焦点大小有关,当灯丝在聚焦槽内的深度越深、聚焦槽的宽度越窄时,聚焦作用越大,即灯丝深度大,主焦点变小,副焦点变大。理想的副焦点应处于主焦点内侧,此时热量容易被分散,焦点大小变化不大(图 1-6)。

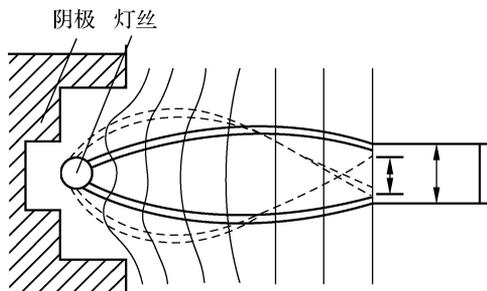


图 1-6 主、副焦点形成

有效焦点尺寸越小,影像清晰度就越高。当有效焦点为点光源时,图像的边界分明,几何模糊小,影像清晰度高;有效焦点越大,图像边界上的半影也越大,几何模糊大,影像清晰度降低。减小有效焦点,势必要减小实际焦点,X 线管的功率随之减小,曝光时间需增加,这将会引起运动模糊。由此可见,减小焦点面积以减小几何模糊、改善影像清晰度和增大 X 线管的功率以缩短曝光时间、减小运动模糊是一对矛盾。固定阳极 X 线管常采用双焦点的方法来协调几何模糊和运动模糊之间的矛盾,另一种更有效的方法是采用旋转阳极 X 线管。

2. X 线管焦点的特性

X 线管焦点的特性包括焦点的方位特性、焦点的阳极效应、焦点增涨以及焦点面上的线量分布。

(1)焦点的方位特性。X 线呈锥形辐射,在照射野不同方向上投影的有效焦点不同,投影在平行于 X 线管长轴方向上,近阳极侧的有效焦点小,近阴极侧的有效焦点大,这一现象称为焦点的方位特性。在短轴方向上观察,有效焦点的大小对称相等。因此,摄影时应保持实际焦点中心、X 线输出窗口中心与投影中心“三点一线”,即 X 线束中心线应对准摄影部位中心(图 1-7)。

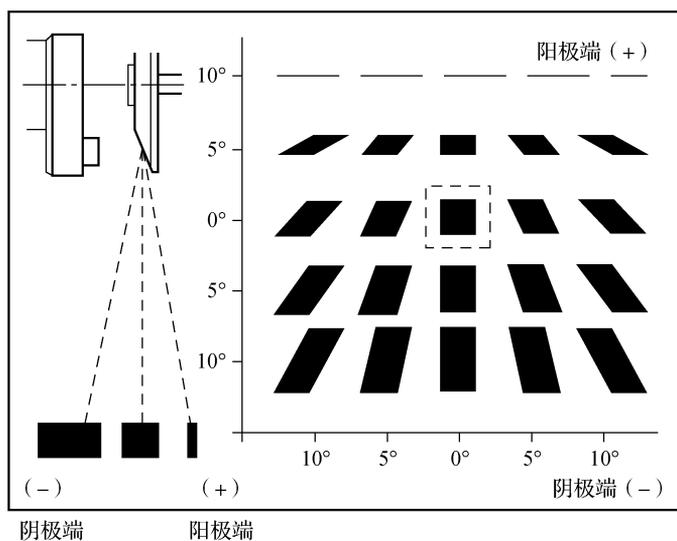


图 1-7 焦点的方位特性

(2) 焦点的阳极效应。在阳极倾角约为 20° 时进行 X 线量的测定, 结果是平行于 X 线管的长轴方向上, 近阳极侧的 X 线量少, 近阴极侧的 X 线量多, 最大值在 110° 处(图 1-8), 分布是非对称性的。这一现象被为 X 线管的阳极效应。在 X 线管的短轴方向上, X 线量的分布基本上对称相等(图 1-9)。

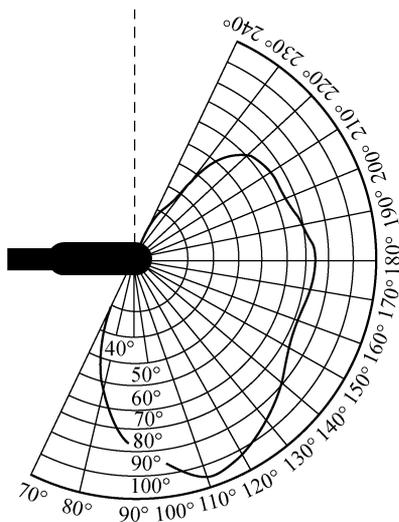


图 1-8 X 线量的空间分布(长轴方向)

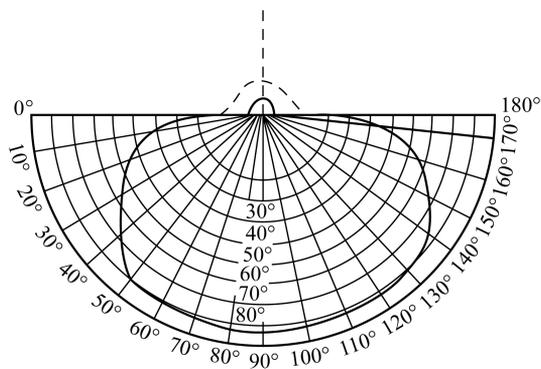


图 1-9 X 线量的空间分布(短轴方向)

因此, 摄影时, 需将厚度大、密度高的组织置于 X 线管阴极侧, 而将需重点观察的细致结构组织及厚度小的部位置于 X 线管阳极侧。

(3) 焦点增涨。在管电流增大时, 电子数量增多, 电子之间的排斥力增大, 使焦点尺寸出现增大的现象, 称为焦点增涨。

通过针孔照相机法拍摄的焦点像如图 1-10 所示。

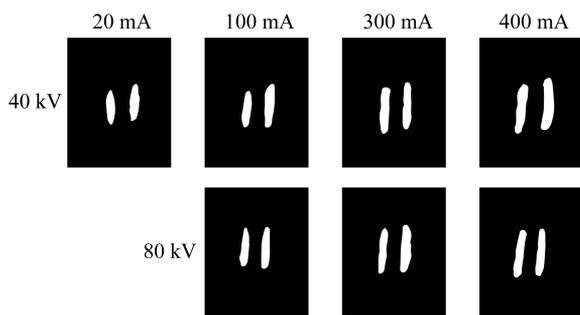


图 1-10 焦点增涨现象

图 1-10 可见,在管电压一定时,焦点增涨的程度取决于管电流的大小,管电压对焦点增涨的影响较小,甚至会出现管电压升高而焦点尺寸略显缩小的表现。

综上所述,有效焦点的大小与实际焦点、投照方位、管电流和管电压有关。

(4)焦点面上的线量分布。利用小孔成像原理,从焦点像上可以看出焦点面上的密度分布是不均匀的。沿焦点宽方向(X线管短轴方向),用密度计扫描可以得出两端密度高、中间密度低的双峰分布曲线(图 1-11)。这证明了焦点宽方向上的线量分布呈中间少、两边高的双峰形;也有的呈多峰分布,这是由于灯丝受聚焦槽深度的影响而出现了主、副焦点。沿焦点长方向(X线管长轴方向),用密度计扫描得出两端密度低、中间密度高的单峰分布曲线(图 1-12)。由以上分布可知,焦点面上的线量分布是不均匀的,线量呈单峰分布的焦点,成像质量比较好。

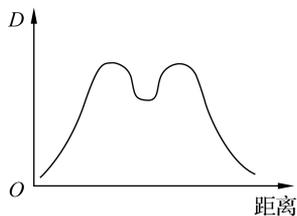
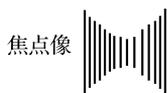


图 1-11 焦点线量分布(短轴方向)

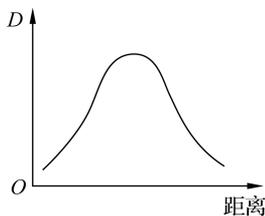


图 1-12 焦点线量分布(长轴方向)

育德树人

模拟 X 线成像原理是现代医学影像发展的基础,通过学习和认识成像原理,学生可以培养勤思考、能创新的科研工作态度。

第二节 影响 X 线影像的因素

X 线摄影所获取的影像应该符合临床诊断的要求,符合影像诊断标准的图像才能提高临床诊断的准确性,保证能够对患者进行有效的治疗。

符合影像质量标准的影像必须具备以下条件:适当的影像密度,良好的照片影像对比度,照片影像层次丰富、锐利度好、失真度小、颗粒度好,照片标记正确、清晰、整齐,照片无任何伪影、刮痕、污染,照片影像显示部位符合诊断要求。

影响 X 线影像的因素有很多,主要包括摄影设备的影响、曝光条件的影响、被照体的影响等。

一、相关基本概念

(一)光学密度

光学密度是一个对数值,为无量纲,是入射光线强度(I_0)与透射光线强度(I)的比值。光学密度可以根据透光率和阻光率来测量。

1. 透光率

透光率(T)是指照片上某处的透光程度,在数值上等于透射光线强度与入射光线强度之比。其计算公式如下:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

T 值越大,冲洗后银原子沉积越多,照片密度越低(呈黑色); T 值越小,冲洗后银原子沉积越少,照片密度越高(呈白色)。当 T 值为 1 时,入射光线全部透过照片,冲洗后银原子全部沉积;当 T 值为零时,无光线透过照片,冲洗后无银原子沉积。

2. 阻光率

阻光率(O)是指照片阻挡光线能力的大小,在数值上等于透光率的倒数。其计算公式如下:

$$O = \frac{1}{T} = \frac{I_0}{I}$$

O 值越大,照片透过的光线越少,冲洗后银原子沉积越少,照片密度越高; O 值越小,照片透过的光线越多,冲洗后银原子沉积越多,照片密度越低。当 O 值为 1 时,表示入射光线全部透过照片,冲洗后银原子全部沉积。

3. 光学密度值

光学密度值(D)是照片阻光率的对数值。其计算公式如下:

$$D = \lg O = \lg \frac{I_0}{I}$$



如 $I_0 = 1\ 000\ \text{Lx}$, $I = 100\ \text{Lx}$, 则 $D = 1.0$ 。光学密度仪就是根据此原理制作而成的。借助光学密度仪, 人们可以直接读出照片影像的光学密度值。

D 值大小是由照片吸收 X 线的银原子的多少决定的, 与观片灯的强弱无关; 但人眼对密度值大小的感觉却随观片灯光线的强弱而有差异。有研究表明, 人眼在正常的观片灯下能分辨的光学密度值的范围为 $0.25 \sim 2.00$, 因此, 人眼难以分辨光学密度值低于 0.25 或高于 2.00 的 X 线照片影像, 需要通过调节入射光线强度, 将 X 线照片置于弱光源或强光源下才能增加人眼对 X 线影像的分辨能力。良好的 X 线诊断照片的密度范围为 $0.3 \sim 1.5$, 在这一范围内, 人眼有最佳的视差感觉。

(二) 照片密度

照片密度又称黑化度, 是指 X 线胶片经过感光后通过显影等处理在照片上形成的黑化程度。将 X 线照片置于观片灯上, 可以看到照片上的影像明暗不同, 组织密度高的部位(如骨)吸收 X 线多, 胶片感光少, 经冲洗后银原子沉积少, 照片显示高密度(白色); 组织密度低的部位(如含气空腔)吸收 X 线少, 胶片感光多, 经冲洗后银原子沉积多, 照片显示低密度(黑色)。

照片密度是观察 X 线照片影像的基本条件, 照片影像的密度必须层次分明才能符合临床影像诊断的要求。如果密度过小或密度过大, 就会导致照片影像的观察受限, 影像的细微结构不易识别。

(三) 照片对比度

照片对比度是形成 X 线照片影像的基础因素之一, 包括四部分内容, 即肢体对比度、X 线对比度、胶片对比度和光学对比度。

1. 肢体对比度

肢体对比度($\Delta\mu$) 又称对比度指数, 是肢体对 X 线吸收系数的差($\mu_2 - \mu_1$)。肢体对比度是被照体所固有的, 是形成射线对比度的基础。

2. X 线对比度

X 线到达被照体之前不具有任何医学信号, 是强度分布均匀的一束射线。当 X 线透过被照体时, 由于被照体对 X 线的吸收、散射而减弱, 透射 X 线出现了强度分布不均匀, 这种强度的差异称为 X 线对比度, 又称射线对比度。此时即形成了 X 线信息影像。X 线对比度的计算公式如下:

$$K_x = \frac{I_2}{I_1}$$

式中, K_x 为 X 线对比度; I_1 、 I_2 为透射 X 线强度。

3. 胶片对比度

胶片对比度又称胶片对比度系数, 是 X 线胶片对 X 线对比度的放大能力。胶片对比度通常取决于胶片的最大斜率(γ) 值或平均斜率(\bar{G}) 值。X 线对比度所表示的 X 线信息影像不能被肉眼所识别, 只有通过某种介质的转换才能成为肉眼可见的影像。在 X 线摄影条件正确的前提下, 胶片对比度越高, 对 X 线对比度的放大能力越大。一般医用胶片的对比度为 $1.5 \sim 3.5$ 。

胶片特性曲线(H-D曲线)上最大斜率 γ 值为:

$$\gamma = \operatorname{tg}\alpha = \frac{D_2 - D_1}{\lg RE_2 - \lg RE_1} = \frac{D_2 - D_1}{\lg I_2 t - \lg I_1 t} = \frac{D_2 - D_1}{\lg I_2 - \lg I_1}$$

使用两种不同 γ 值的胶片进行摄影时,所得照片对比度不同,如图 1-13 所示。在拍摄厚度相同的脂肪、肌肉和骨组织的影像时,物质对 X 线的吸收关系是 $I = I_0 e^{-\mu d}$, 两侧取以 e 为底的对数,可得 $\ln I = \ln I_0 - \mu d$, 若用横坐标表示 $\ln I$,纵坐标表示组织厚度,则各组织的吸收曲线位于第四象限。若横坐标表示密度值,在第一象限描绘出胶片的特性曲线 A 和 B,曲线 A 比曲线 B 的 γ 值大。通过各种组织的 X 线吸收曲线做出各种组织在不同胶片上的影像密度差,就获得了不同照片的对比度(第二象限),黑色柱体表示用 γ 值大的胶片获得的照片对比度。

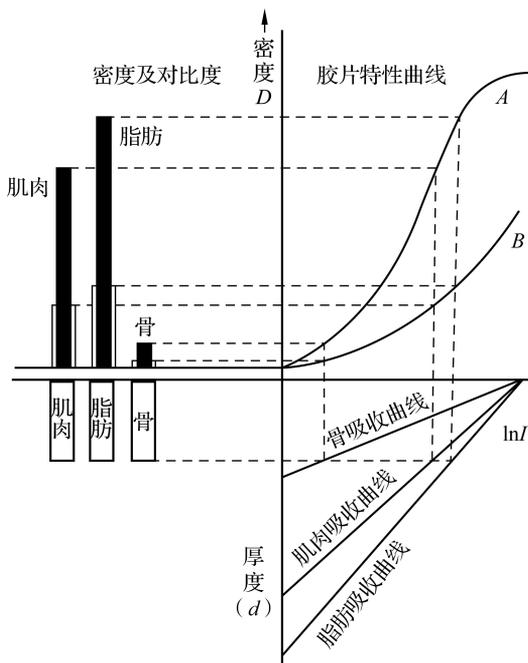


图 1-13 胶片 γ 值对照片对比度的影响

显然,用 γ 值大的胶片比用 γ 值小的胶片获得的照片对比度高。对 X 线吸收差异较小的脂肪和肌肉组织,用 γ 值大的胶片,在照片影像上也可以辨认。因此,X 线摄影时应尽量采用 γ 值大的胶片。

4. 光学对比度

光学对比度(K)是 X 线照片上相邻组织影像的密度(D_1 、 D_2)差。光学对比度依赖于被照体不同组织对 X 线衰减所产生的 X 线对比度以及胶片对 X 线对比度的放大结果。照片的光学对比度计算公式如下:

$$K = D_2 - D_1$$

照片对比度计算公式为

$$K' = \gamma(D_2 - D_1) = \gamma \lg \frac{I_2}{I_1} = \gamma \lg K_x = \gamma(\mu_2 d_2 - \mu_1 d_1) \lg e$$



在 X 线对比度一定时,光学对比度的大小取决于胶片的 γ 值大小。 γ 值越大,获得的光学对比度越大。

光学对比度可用相加的方法计算(图 1-14): $\sum K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n$ 。

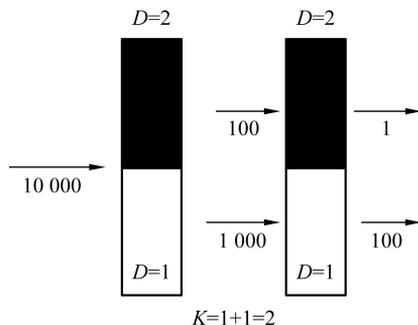


图 1-14 光学对比度合成

因此,在两面药膜的医用 X 线胶片上,照片的光学对比度分别是两个药膜各自产生的光学对比度之和。

在胶片对比度一定的情况下,低电压时光电吸收增多,X 线对比度高,能获得较高的照片对比度,但影像层次减少;高电压时光电吸收减少,X 线对比度低,照片对比度降低,但影像层次增加。

(四) 影像锐利度和模糊度

1. 锐利度

锐利度(S)是指在照片上影像边缘的清晰程度。如果以 X 线照片影像相邻两点的照片密度差($D_2 - D_1$)为照片对比度(K'),从 D_1 到 D_2 的移行距离为 h ,则锐利度的计算公式如下:

$$S = \frac{D_2 - D_1}{h} = \frac{K'}{h}$$

由上式可以看出,锐利度是建立在照片对比度基础之上的。相邻两部分密度转变过程越明确,密度移行距离越短,锐利度越高。

2. 模糊度

模糊度(H)是相对于锐利度而言的。在 X 线照片上,组织器官、解剖结构、病灶等影像的轮廓边缘不锐利,均称为“模糊”。它表示从一个组织的影像密度过渡到相邻的另一组织影像密度的幅度。移行幅度的大小称为模糊度。当移行幅度超过 0.2 mm 时,人眼便可识别出影像的模糊。如图 1-15 所示, H 值越大,表示两密度移行幅度越大,其影像边缘越模糊。

X 线照片影像的模糊是由多种原因引起的综合效果,影像产生模糊的原因主要有:焦点的几何学模糊、运动模糊和屏-片系统产生的模糊。针对这些原因进行全面正确的分析,采取有效措施,降低和限制影像模糊,才能提高照片影像质量。

(1) 焦点的几何学模糊。根据几何光学的原理可知,一个理想的点光源发出的光束呈放射状,在肢-片距不等于零时,对物体的几何投影只有放大变化而不产生模糊。但 X 线管的

焦点不是理想的点光源,而是一个具有一定面积的发光源,因此在 X 线摄影成像时,由几何学原因而形成的半影(图 1-16)称为几何学模糊。了解形成半影的因素,并在摄影过程中加以改善和避免,有利于降低照片影像的模糊度。

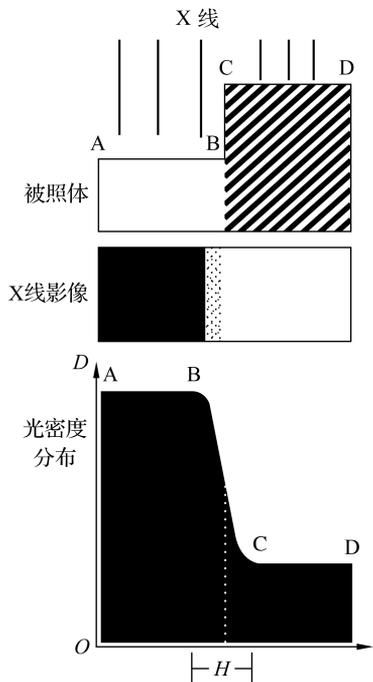


图 1-15 X 线影像模糊

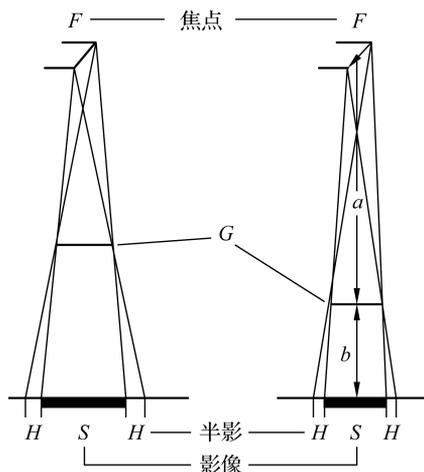


图 1-16 半影形成原理

半影的大小可用以下公式进行计算:

$$H = F \frac{b}{a}$$

式中, H 为半影面积; F 为焦点的大小; b 为肢-片距; a 为焦-肢距。

影响半影大小的因素包括以下几点。

①焦点大小(F)。焦点越大,几何模糊度即半影越明显。在 X 线管负荷允许的情况下,为了使影像清晰,应尽量使用小焦点进行摄影。焦点的大小在一定程度上主要受管电流的影响。

②影像放大率(M)。在 X 线摄影中, X 线束是以焦点作为顶点的圆锥形放射线束,将被照体(G)置于焦点与胶片之间时,因为几何投影关系,一般被照体与焦点有一定的距离(a ,焦-肢距),胶片与肢体有一定的距离(b ,肢-片距),所以被照体在 X 线胶片上的影像(S)比被照体要大。 S 与 G 之比即称为影像放大率(图 1-17)。

影像放大率的计算公式如下:

$$M = \frac{S}{G} = \frac{a+b}{a} = 1 + \frac{b}{a}$$

从上式可以看出, a 越小、 b 越大,影像放大率越大; a 越大、 b 越小,影像放大率越小。

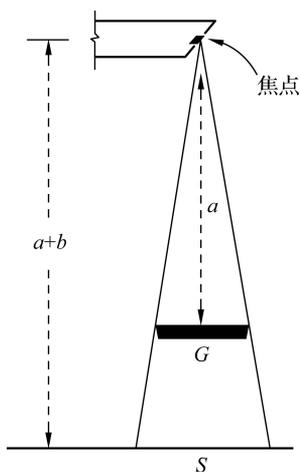


图 1-17 X 线影像的放大

③焦点允许放大率。有关人眼的模糊值,国际放射学界公认当半影模糊值小于 0.2 mm 时,人眼观察影像毫无模糊之感;当半影模糊值大于 0.2 mm 时,人眼观察影像开始有模糊之感。因此,0.2 mm 的半影模糊值就是人眼的模糊阈值。

根据半影计算公式和影像放大率的公式代入可以得到下面的公式:

$$H = F \frac{b}{a} = F \left(\frac{a+b}{a} - 1 \right) = F(M-1)$$

将模糊阈值 $H=0.2$ mm 代入上述公式,焦点允许放大率表示为下式:

$$M = 1 + \frac{0.2}{F}$$

式中, M 为焦点允许放大率;0.2 为人眼的模糊阈值; F 为焦点的尺寸。知道了焦点的尺寸,即可求出该焦点所允许的最大放大率(M)。

X 线是呈锥形放射的,不是平行线束。因此,照射到胶片上的影像必然有一个模糊的半影。焦-片距越远,射线越趋向平行,半影自然也就越小。当焦点面积、焦-片距固定不变时,半影随肢-片距的增加而增加;反之,半影就减小。因此,摄影时应尽量使被照体贴近胶片。

但在实际应用中,因为 X 线强度依反平方定律而减弱,所以不可能无限制地提高焦-片距。要获得同一密度,就要大大增加摄影条件,这就受到了机器容量的限制。因此,在实际摄影技术中,人们根据不同部位的摄影要求和所使用的机器容量,规定了几种焦-片距,如胸部摄影焦-片距为 150~200 cm,一般部位摄影焦-片距为 75~100 cm 等。此外,也可以利用被照体远离胶片而产生的影像放开展放大摄影(magnification radiography)。

根据上述产生几何模糊的因素,医学影像技术人员在摄影过程中应注意以下三点:被照体尽可能贴近胶片,尽可能增大焦-片距,使用最小的焦点。

(2)运动模糊。X 线摄影过程中,X 线管、被照体及胶片三者均应保持静止或相对静止,即三者之间的相互几何投影关系保持不变。如果其中一个因素在 X 线摄影过程中发生移

动,所摄影像就会出现模糊现象,这称为运动模糊。

引起运动模糊的因素有 X 线管、胶片的运动及患者的运动。在 X 线摄影时,模糊主要是由患者的运动引起的,患者的运动包括生理性运动(如心脏与大血管的搏动、胃肠道的蠕动等)以及病理性运动(如哮喘、肢体震颤、胃肠道痉挛等),这些是不可避免的。有时患者不合作而产生的自主运动(如婴幼儿哭闹、精神障碍患者以及人为的体位移动等)会导致在照片上产生运动模糊。运动模糊的程度(H_m)取决于物体运动的幅度(m)与照片影像放大率(图 1-18),其公式如下:

$$H_m = m \left(1 + \frac{b}{a} \right)$$

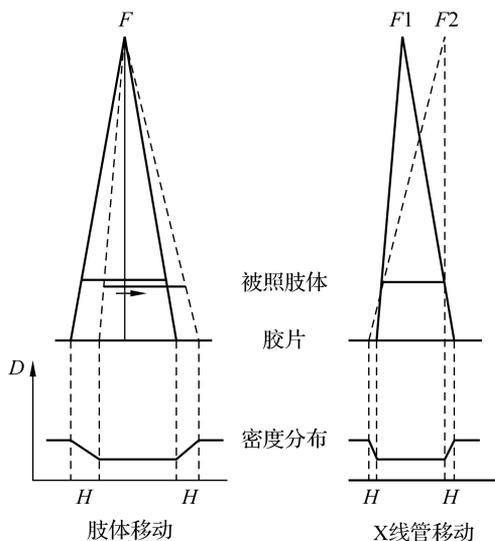


图 1-18 运动模糊的产生

一般情况下,运动模糊是影像模糊最主要的因素。因为运动模糊的量是运动幅度与影像放大率的乘积,所以运动模糊要比单纯的几何模糊更严重。因此,在摄影时,医学影像技术人员应告知患者保持摄影部位固定,必要时可使用辅助固定设备加以固定。

为了控制和降低运动模糊,在 X 线摄影中应采取的措施如下。

- ① 保证 X 线管、诊断床以及活动滤线器托盘的机械稳定性,如有故障应及时维修。
- ② 在摄影时,通过固定患者肢体、屏气与缩短曝光时间等方法减少运动模糊。例如,对活动脏器和不合作者,采用短时间曝光法;对合作的患者,需要呼吸配合进行摄影的部位,摄影前应向患者说明,并训练屏气动作,使患者能很好地配合摄影;对四肢部位,可用沙袋等做必要的压迫及固定,以避免在摄影中移动。
- ③ 尽量缩小肢-片距,摄影时尽量使被检部位紧贴胶片。在肢-片距不等于零的情况下,有不同程度的放大现象存在,而放大现象又增加了运动模糊,所以缩小肢-片距也是降低运动模糊的一种措施。

- ④ 为了减少曝光时间,可配用高感光度的胶片、高增感率的增感屏、强力显影液等,保证



X线胶片产生合适的感光效应。

(3)屏-片系统产生的模糊。屏-片系统会使照片影像产生一定程度的模糊,其原因除增感屏及胶片本身具有微小的模糊作用外,还与增感屏与胶片的接触不佳有关。因此,对屏-片系统产生的模糊应给予足够的重视。

使屏-片系统产生模糊的因素主要有增感屏模糊、屏-片接触模糊及中心线斜射模糊。

①增感屏模糊。增感屏产生的模糊是光的扩散现象造成的。增感屏荧光颗粒越大,荧光发光效率越高,荧光扩散现象越严重,产生的模糊度越明显。另外,荧光颗粒发出的荧光在传递到胶片之前可有各种程度的反射,反射层越大,荧光层越厚,则模糊度越大(图 1-19)。

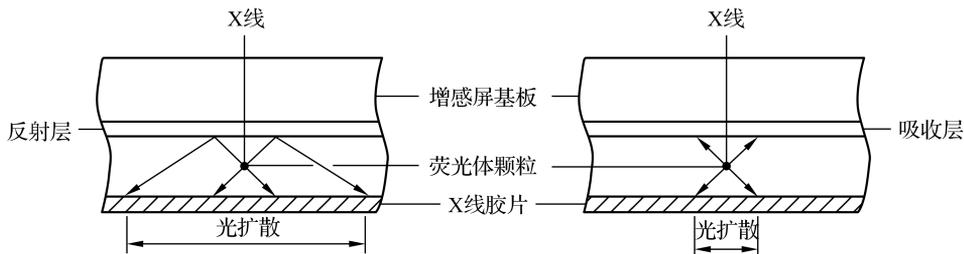


图 1-19 增感屏模糊

②屏-片接触模糊。X线摄影一般屏-片组合使用,在使用时,如屏-片组合接触不良,则会继产生屏-片接触模糊,对影像质量的影响更为明显。因此,屏-片组合必须紧密,要求在粘贴增感屏后进行屏-片接触性测试,合格者方可在摄影技术中应用(图 1-20)。

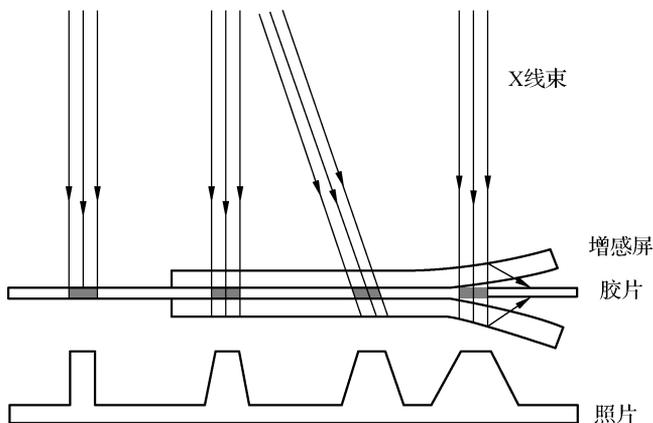


图 1-20 屏-片接触模糊

③中心线斜射模糊。在 X线摄影技术中,经常需要中心线倾斜一定角度来摄取某一解剖部位。为此,X线对双增感屏-双乳剂胶片形成了倾斜照射,此时胶片前后乳剂层形成的影像将因错开一段距离而模糊。中心线倾斜角度越大,影像就越模糊。这种现象即 X线对屏-片系统的斜射效应(图 1-21)。

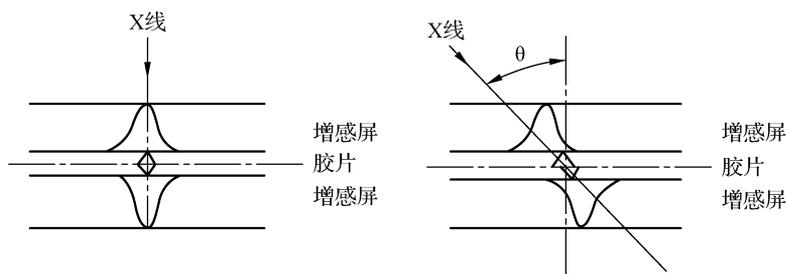


图 1-21 中心线斜射模糊

(五) 影像颗粒度

均匀的 X 线束照射到胶片或屏-片系统之后,在照片上,观察光学密度值大约是 1.0 处时可见其光学密度不均匀,即出现不规则的斑点,这种由小密度差造成的不均匀结构呈现粗糙或沙砾状效果,称为照片斑点或照片颗粒性。颗粒度差,可造成一定程度的影像模糊,从而影响影像质量。

在影响影像颗粒度的因素中,最为重要的因素是增感屏斑点和胶片斑点。

(1)引起增感屏斑点的原因有增感屏结构斑点和 X 线量子斑点。增感屏结构斑点可因增感屏荧光体颗粒大小不等、分布不均匀、涂布厚度不同而增多或减少;X 线量子斑点是增感屏单位面积吸收量子的数据统计学波动造成的。所用的量子越少,量子斑点越大,因此,进行 X 线摄影时必须充分注意 X 线量不能过少。一般认为,在屏-片系统中形成 X 线影像,最低限度的 X 线量子数是 10^5 个/ mm^2 ;在透视中,最低限度的 X 线量子数约为 40 个/ mm^2 。

(2)引起胶片斑点的原因有胶片卤化银颗粒的尺寸和分布以及胶片对比度。胶片斑点是卤化银晶体颗粒造成的,卤化银颗粒大,则影像颗粒粗,即产生模糊。这种模糊在屏-片组合系统形成的模糊中可以忽略不计,原因是胶片卤化银的颗粒比荧光物质的颗粒小得多,且胶片厚度不及增感屏的 $1/10$ 。

(六) 影像失真度

照片影像显示与原物体大小及形状的差别称为失真。失真的程度称为照片影像失真度。根据影像失真的原因,照片影像失真分为放大失真、歪斜失真、重叠失真三大类。

1. 放大失真

X 线摄影的照片上的影像均有放大。由于被照物体各部位与胶片的距离不同,被照体各部位的放大率不一致,这种现象称为影像的放大失真。

例 如图 1-22 所示,在体内有 A、B 两点,离焦点近者为 A,离焦点远者为 B。A、B 之间的距离为 b ,焦点离 A 点的距离为 a ,B 点至胶片的距离为 c 时,求 A、B 两点的放大率及失真度。

A 点在胶片上的放大率 α 为

$$\alpha = \frac{a+b+c}{a}$$

B 点在胶片上的放大率 β 为

$$\beta = \frac{a+b+c}{a+b}$$

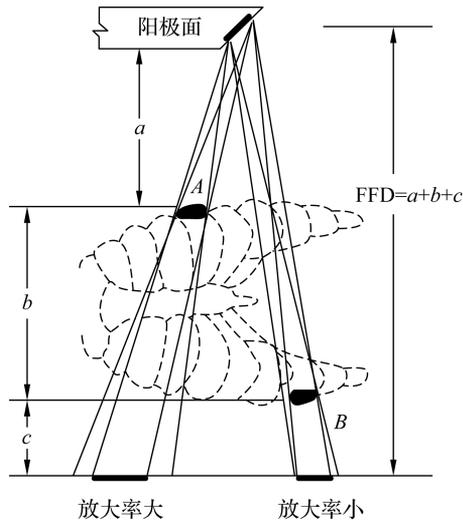


图 1-22 影像放大失真

如果用 ω 表示由放大率不同引起的失真,可表示为

$$\omega = \frac{\alpha}{\beta} = 1 + \frac{b}{a}$$

通过上例可以看出,当两个物体位于体内时,若其距离较大,且焦点至 A 点的距离不是足够大时, ω 值是不容忽视的;当焦-片距增大,病灶离胶片又较近时, ω 值接近 1,这时可认为 X 线几乎是平行的,几乎不发生失真。

因此,摄影过程中应使被照体或被摄病灶尽量与胶片平行而且贴近,避免出现放大失真。

2. 歪斜失真

摄影时,X 线中心线与被照体的投影关系不合理,被照体不在焦点的正下方,可引起歪斜失真,又称形状变形。歪斜失真可表现为被照体的影像被拉长或缩短,但不限于诊断上的特别要求(图 1-23)。

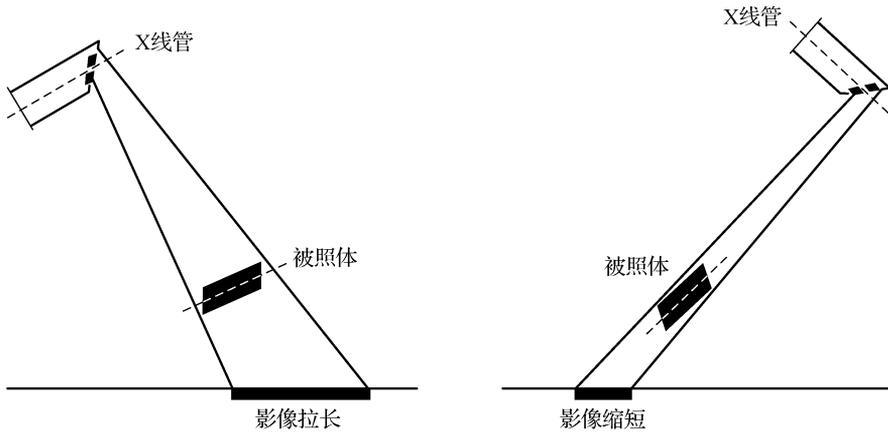


图 1-23 影像歪斜失真

摄影时,应尽量将焦点置于被照体中心的正上方,尽量使被照体与胶片平面平行。这样可以有效避免歪斜失真的发生。

3. 重叠失真

被照体组织结构相互重叠,在影像上形成的光学密度减小、对比度下降乃至影像消失的现象称为重叠失真。

被照体是三维立体的人体,而照片影像则是二维的平面影像,必然会存在影像重叠现象。X线照片影像的重叠有以下三种情况。

(1)大物体的密度小于小物体的密度,而且相差很大时,重叠影像的对比度较好,大物体的影像中可以看到小物体的影像,如胸部肺野中的肋骨阴影。

(2)大、小物体组织密度相等并且都较高时,重叠后的影像中小物体的阴影隐约可见,对比度差,如膝关节正位照片中髌骨的影像。

(3)大、小物体组织密度相差很大,而且大物体的密度大于小物体的密度时,重叠后的影像中小物体的阴影由于对X线吸收很少而不能显示,如正位胸片中看不到胸骨的影像。

为了减轻和避免被照体影像的重叠,在X线摄影时应合理选择体位,灵活运用中心线的投射方向。如图1-24所示,如投射方向从两种结构重叠的垂直方向进行投照,则两种结构相互重叠。由于两种结构大小和密度的差别,可出现以上三种重叠情况。如调整X线管管头,使投射方向倾斜一定的角度,则两种结构可分开显示。因此,医学影像技术人员可根据观察需要合理利用各种角度、旋转体位、倾斜射线、体层等方法来减少影像重叠的情况。

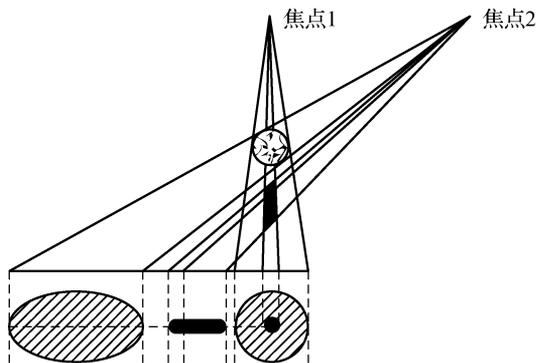


图 1-24 影像重叠失真

二、摄影设备对影像的影响

(一) 胶片对影像的影响

在曝光量一定时,胶片的感光度越大,形成的照片密度越大。照片对比度是X线对比度通过胶片对比度放大显示出来的,在X线摄影条件正常的情况下,胶片对比度越高,对X线对比度的放大能力越大,获得的照片对比度越高。胶片放置时间较长可导致胶片对比度下降。



(二) 增感屏对影像的影响

X线照射到胶片上时,有98%透过,仅2%被吸收。增感屏的使用可将吸收到的更多的X线转化成为可见光线,大大提高了胶片密度。这一作用在厚部位摄影中更加明显。增感屏的增感率越高,可获得的照片密度越大。增感屏还可提高X线影像的对比度。使用增感屏所获得的影像对比度明显高于无屏摄影,在低电压摄影时更加明显。目前,X线摄影采用的增感屏的增感率为20~100,也就是使胶片的感光能力提高20~100倍,因此可以明显提高照片对比度。如果把无屏胶片A与屏-片组合B的特性曲线绘制出来(图1-25),就会发现屏-片组合B的特性曲线左移,曲线的斜率也加大。同时,使用增感屏可减少X线的辐射剂量和缩短曝光时间,对活动性器官和不配合的患者可减少运动模糊。

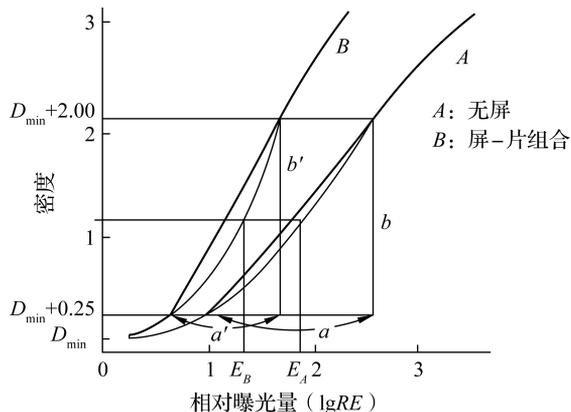


图 1-25 有屏与无屏特性曲线比较

(三) 胶片冲洗设备对影像的影响

胶片需要冲洗才能获得影像,因此,暗室冲洗技术直接影响照片密度。显影液的特性、显影液的温度、显影时间以及冲洗环境的安全性都会影响照片密度。显影液的pH越高,温度越高,显影时间越长,照片密度越大;反之,则越小。同时,胶片冲洗对照片对比度也有影响:若显影操作不当或暗室照明不合适,就会在胶片上产生灰雾,降低对比度;若在冲洗胶片的显影液中增加显影剂中对苯二酚的比例(提高浓度),则可以提高照片对比度。另外,加入适量的抑制剂、采取动态显影也可以提高照片对比度。



图文
显影液和定影液

(四) 观片灯对影像的影响

X线照片需要在观片灯上观察,把卤化银颗粒的不均匀分布转换为可见光的空间分布,有利于投射到人眼的视网膜上。因此,观片灯的亮度、颜色以及观察照片的环境亮度都会影响照片对比度的观察效果。用不同亮度的观片灯观察同一张X线照片的效果不同。一般来说,感光不足的X线照片用低亮度黄色观片灯可提高生理对比度,感光过度的X线照片可借助强光灯来提高生理对比度。

(五) X线管焦点对影像的影响

X线管焦点是一个具有一定面积的发光源,因此,在X线摄影成像时,会因几何原因形

成半影(几何学模糊)。X线管焦点越大,则半影越大,X线影像就越模糊。旋转阳极X线管的焦点要小于固定阳极X线管,因此,半影更小,影像更清晰。

(六)抑制和消除散射线设备对影像的影响

1. 散射线的产生

X线管发射出的原发射线穿过人体及其他物体时,会发生光电效应和康普顿散射,产生方向不定、能量较低的散射线(图 1-26)。这些散射线会使照片产生灰雾,影响照片对比度,还会对工作人员和患者产生辐射。因此,在实际应用中,应尽量减少散射线的产生。

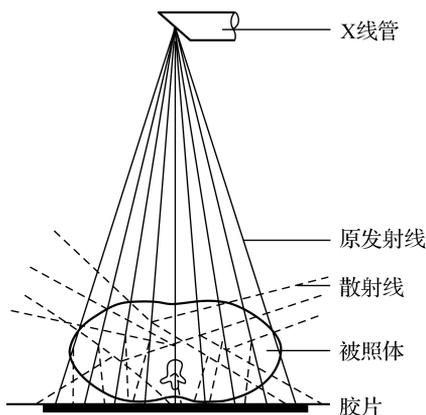


图 1-26 散射线的产生

散射线含有率是作用于胶片上的散射线与全部射线的比率。散射线含有率受管电压和被照体厚度以及照射野的影响。

$$\text{散射线含有率} = \frac{\text{散射线}}{\text{全部射线}}$$

散射线含有率随着管电压的升高而升高。当管电压超过 80 kV 或 90 kV 时,散射线含有率趋于平稳。另外,原发射线能量越大,所产生的散射线角度越小,越靠近原发射线,产生灰雾的机会也就越大。

当被照体的厚度在 15 cm 以下时,在管电压和照射野相同的情况下,散射线含有率随着被照体厚度的增加而增加。当被照体厚度超过 15 cm 时,因前层组织中产生的散射线被后层组织所吸收,不能到达胶片,所以散射线含有率不再增加。

照射野增加可使散射线含有率大幅增加。散射线含有率的增加在照射野大小为 30 cm×30 cm 时达到了饱和;当照射野小于 2 cm×2 cm 时,散射线含有率很低。因此,在实际摄影时,应尽可能使用小照射野。

2. 抑制散射线的方法

(1)应用遮线器。遮线器主要通过控制照射野的大小来减少散射线。遮线器分透视和摄影两种,通常由铅板和辅助机械装置组成。辅助机械装置使相互垂直的两对铅板并拢或张开,用来控制照射野的大小。实际应用时,应尽量缩小照射野,一般照射野的大小不超过胶片。

(2)应用滤过板。将适当厚度的金属薄板(如铝板、铜板等)置于X线管窗口处,吸收原发射线中波长较长的无用射线,可以减少低能射线对照片的影响和对患者的辐射。



3. 消除散射线的方法

(1)空气间隙法。空气间隙法又称空气间隙效应,其利用空气可吸收能量较低的 X 线及 X 线衰减与距离的平方成反比的规律,在增加了肢-片距后,使一部分与原发射线成角较大的散射线射出胶片范围以外,从而减小对照片对比度的影响。

(2)应用滤线栅。滤线栅是消除散射线最有效的设备。摄影时,使用滤线栅可直接减少胶片所接受的散射线量,有效改善照片对比度,提高影像质量。

①滤线栅的结构。滤线栅由许多薄的铅条(一般厚 0.05~0.10 mm)和作为填充质的易透过 X 线的低密度物质(0.15~0.35 mm 铝或有机化合物等)构成。滤线栅中的铅条相互平行或形成一定斜率固定排列,两面再附加铝板或合成树脂板(起支撑和保护作用),成为有一定厚度的能吸收散射线的铅条板(图 1-27)。

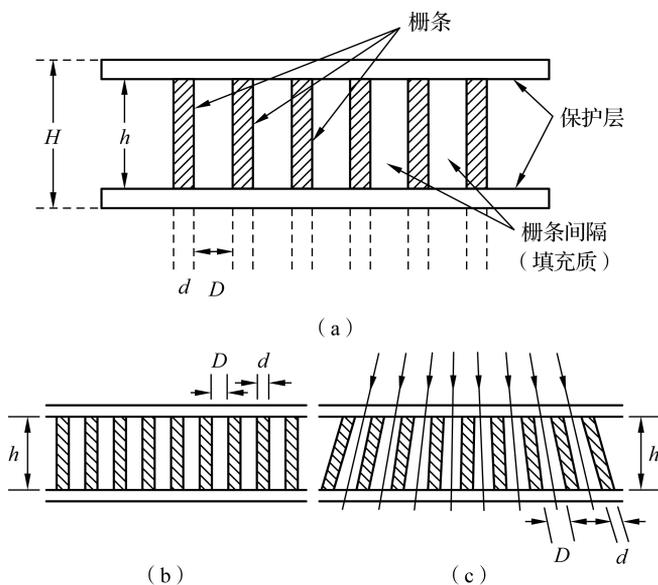


图 1-27 滤线栅的基本结构

②滤线栅的分类。根据结构特点,滤线栅分为聚焦式滤线栅、平行式滤线栅和交叉式滤线栅等。聚焦式滤线栅的铅条延长线可于空中会聚;平行式滤线栅的铅条互相平行排列;交叉式滤线栅中的铅条相互垂直或斜交叉组成,栅平面呈网格状。此外,滤线栅根据运动机能又分为静止式(固定式)滤线栅和活动式滤线栅两种:静止式滤线栅在曝光过程中保持不动,会在胶片上留下细小的铅条影;活动式滤线栅的滤线栅板与机械振动结构连接在一起,曝光时铅条运动,产生模糊,避免铅条影像对被照体影像的影响。

③滤线栅的工作原理。摄影时,将滤线栅置于肢体与胶片之间,焦点至滤线栅的距离应在滤线栅焦距允许的范围内,并使 X 线中心线对准滤线板中心。这样从 X 线管发出的原发射线与滤线栅的铅条平行,大部分穿过铅条间隔到达胶片,小部分照射到铅条上被吸收。散射线因与铅条成角,大部分不能通过铅条间隔而被吸收,减少了胶片接收的散射线量,从而有效地改善了照片对比度,提高了影像质量(图 1-28)。

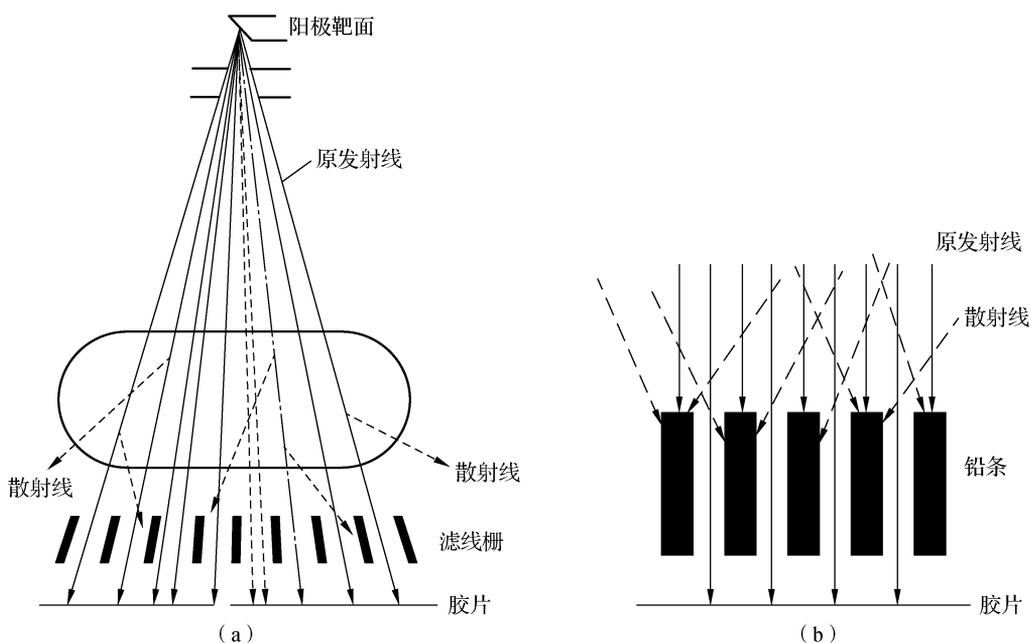


图 1-28 滤线栅的工作原理

④滤线栅的特性。

a. 栅比(R)。栅比是指铅条高度(h)与相邻两铅条间距(D)的比值。其表达式为

$$R = \frac{h}{D}$$

R 表示一个滤线栅清除散射线的能力, R 值越高, 滤线栅消除散射线的能力越好。常用滤线栅有 $8:1$ 、 $12:1$ 、 $16:1$ 、 $34:1$ 等多种栅比值。

b. 栅密度(n)。栅密度是指在滤线栅表面上单位距离(1 cm)内, 铅条的宽度(d)与相邻两铅条间距形成的线对数。栅密度常用线/cm 来表示, 表达式为

$$n = \frac{1}{d+D}$$

栅比值相同、 n 值大的滤线栅, 吸收散射线能力强。

c. 铅容积(P)。铅容积表示在滤线栅表面上, 平均 1 cm^2 中铅的体积(cm^3)。其表达式为

$$P = ndh$$

式中, n 为栅密度; d 为铅板的宽度; h 为铅条高度。

d. 滤线栅的焦距(f_0)和焦距距离界限($f_1 \sim f_2$)。滤线栅的焦距是指聚焦滤线栅的倾斜铅条延长线会聚于空中的直线到滤线栅板平面的垂直距离。焦距距离界限是指在 X 线摄影时, 在聚焦滤线栅有效面积边缘外, 原射线透射值在聚焦距离上的透射值的 60% (满足临床需要的 X 线照片) 时, 允许焦点距离聚焦入射面的最低 f_1 和最高 f_2 的范围。此范围随栅比的增加而缩小(图 1-29)。

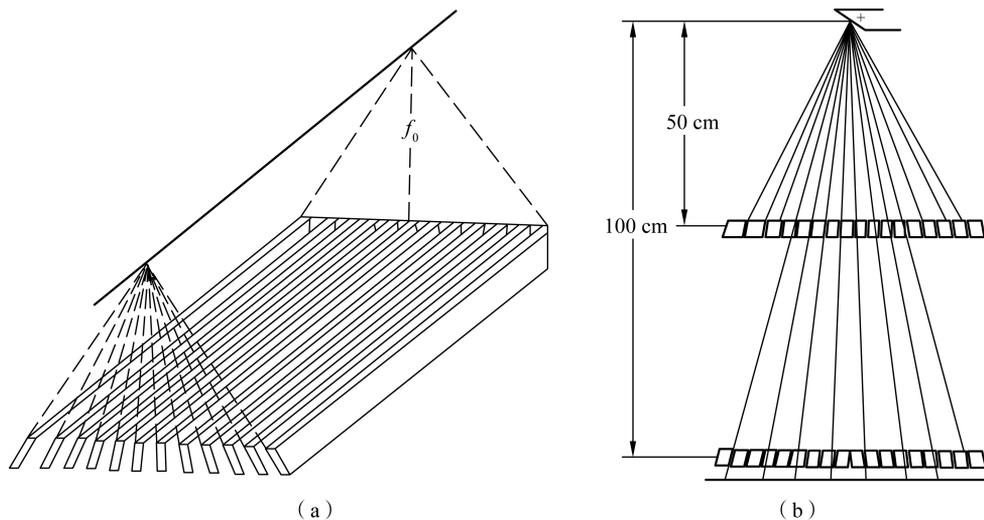


图 1-29 滤线栅的焦距和焦栅距离界限

e. 一次 X 线透过率(T_p)。所谓一次 X 线,是指从 X 线管焦点发出的原发射线,不包括散射线。一次性 X 线透过率是指使用滤线栅时原发射线强度与不使用滤线栅时原发射线强度之比。其计算公式如下:

$$T_p = \frac{I_p''}{I_p'}$$

式中, I_p'' 、 I_p' 分别为使用和不使用滤线栅时的原发射线强度。

f. 对比度改善系数(K)。对比度改善系数又称对比度因子,是指使用和不使用滤线栅的对比度之比。对比度改善系数表示为

$$K = \frac{\text{使用滤线栅的对比度}}{\text{不使用滤线栅的对比度}}$$

K 值越大,消除散射线的效果越好。

g. 曝光倍数(B)。曝光倍数又称滤线栅因子,是指不使用滤线栅时,测得的全部 X 线(原发射线和散射线之和)强度(I_t')和使用滤线栅时测得的全部 X 线强度(I_t'')的比值。曝光倍数表示为

$$B = \frac{I_t'}{I_t''}$$

B 值越小,所需曝光量越小, B 值一般为 2~6。

h. 滤线栅的切割效应。滤线栅的切割效应是指滤线栅铅条对 X 线原发射线的吸收作用(图 1-30)。

滤线栅切割效应的发生主要有以下四种情况。

- 聚焦式滤线栅倒置。照片显示中部密度大而两边密度小的不均匀现象。
- 侧向倾斜(或偏离)栅焦距。有两种情况:一种是摄影距离与栅焦距一致,但 X 线管焦点向一侧偏离了聚焦线;另一种是摄影距离与栅焦距一致,而栅平面不与 X 线束垂直,向一

侧倾斜了一定的角度。这两种情况都会产生密度不均匀的影像。

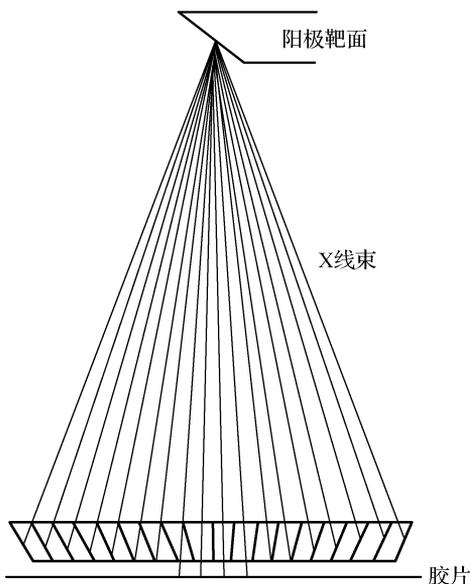


图 1-30 滤线栅的切割效应

- 偏离栅焦距。X 线管焦点对准栅中心,但栅焦距过大或过小都会产生切割效应。
- 双重偏离。侧向偏离及上、下偏离栅焦距同时发生,双重偏离可造成胶片不均匀照射,照片影像密度出现一边高、一边低的现象。

⑤使用滤线栅的注意事项。使用聚焦式滤线栅时,不能将滤线栅倒置;X 线中心线要对准滤线栅中线,左右偏移不超过 3 cm;倾斜 X 线管时,倾斜方向只能与铅条排列方向平行;使用聚焦式滤线栅时,焦点至滤线栅的距离要在允许的焦栅距离界限范围内;使用调速运动滤线栅时,要调好与曝光时间相适应的运动速度,一般运动时间应长于曝光时间的 1/5。

三、曝光条件对影像的影响

(一)管电压

照片对比度形成的实质是被照体对 X 线的吸收的差异,而吸收的差异又是由 X 线的质所决定的。通常,X 线的质是由射线的波长决定的,而波长受管电压的影响。管电压增高,使 X 线穿透物质到达胶片的量增多,即照片密度增强。由于作用于 X 线胶片的感光效应与管电压的 n 次方成正比,所以当胶片对其响应处于线性关系时,照片密度则与管电压的 n 次方成正比。管电压的 n 值可因管电压的数值、被照体厚度及屏-片组合等因素而发生改变。

管电压的变化范围为 40~150 kV 时, n 值从 4 降到 2。因此,使用低电压摄影技术时,管电压的改变对照片密度的影响比使用高电压摄影技术时大。高电压摄影时,摄影条件选择的通融性要大;低电压摄影时,对管电压的选择会更严格。

由于照片密度与管电压的 n 次方成正比,所以管电压数值变化比曝光量变化对照片密



度的影响要大。但是,由于管电压的升高可增加散射光子,降低照片对比度,所以在摄影时应当利用照射量调节照片密度,利用管电压控制照片对比度。

图 1-31 显示了肌肉、脂肪和骨的 X 线吸收曲线,骨和脂肪在不同电压下的 X 线吸收情况有差异。高电压摄影时,X 线吸收系数彼此接近,说明骨、肌肉、脂肪对 X 线的吸收量差异不大,所获得的 X 线照片对比度低(白色柱体间的对比);而低电压摄影时,骨、肌肉、脂肪的 X 线吸收系数差异大,故获得的 X 线照片对比度高(黑色柱体间的对比)。使用高电压摄影,照片对比度减小,获得的层次丰富,病灶与正常组织清晰可见,甚至在胸部可呈现出肺纹理连续追踪的效果。

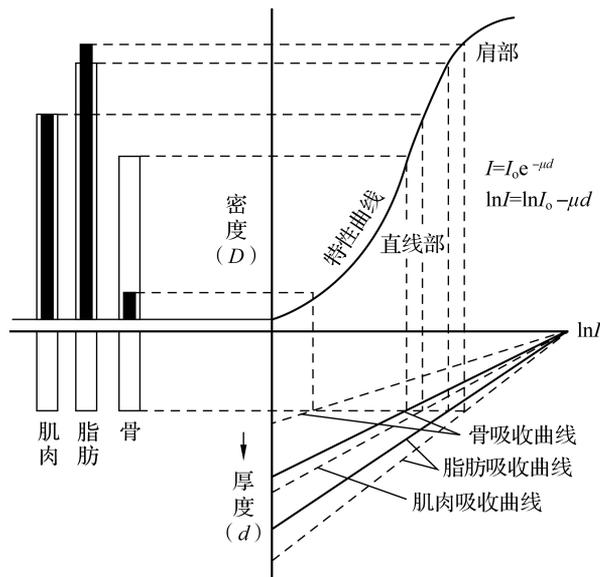


图 1-31 管电压对照片对比度的影响

X 线的吸收差随被照组织的性质(原子序数、厚度、密度)及管电压的不同而发生改变,特别是原子序数不同的物质,如对比剂、钙化灶等的吸收差大,照片对比度较大。而乳腺、腹腔内的组织器官等的吸收差小,照片对比度较小。为获得有良好对比度的照片,应尽量将组织吸收差显示在胶片特性曲线的直线部。为此,可通过改变 X 线的质(管电压)压缩吸收差,将被照组织的影像显示在胶片特性曲线的直线部,将不需要的其他组织显示在直线部分之外。

为了得到有更好对比度的照片,根据不同的组织结构特点,可采用不同的管电压进行摄影。在 X 线摄影中,管电压的使用范围主要有以下几种形式:软 X 线摄影,25~40 kV(由钼靶 X 线管产生);普通 X 线摄影,40~100 kV;次高电压摄影,100~120 kV;高电压摄影,120~150 kV。

临床上大多使用管电压为 40~100 kV 的普通 X 线摄影。管电压为 25~40 kV 时,由于产生的波长较长,多用于软组织及较薄组织特别是乳腺摄影。软 X 线摄影又称为软组织摄影。高电压摄影又称高千伏摄影,常用于胸部 X 线检查。

(二)曝光量

当管电压一定时,决定 X 线照片密度的因素是曝光量,即管电流和曝光时间的乘积。不

同的曝光量在照片上得到不同的照片密度。两者的关系符合胶片特性曲线关系。在适合的曝光范围内,曝光量与照片密度的变化成正比。但在曝光不足或曝光过度时,照片密度的变化则小于曝光量的变化。

在实际应用上,要考虑瞬间电压对照密度的影响。使用管电流越大,电压下降越大,这样实际输出的管电压就达不到预定数值,照片密度因此而减小,所以应将电压数值预先补偿。

(三)摄影距离

X线的强度在空间的衰减遵循平方反比定律,因此,作用在胶片上的感光效应与焦-片距的平方成反比。从充分利用X线效能来增加密度的角度来讲,应尽力缩短焦-片距,但这势必会增加影像模糊度及放大失真的程度。因此,在实际工作中,医学影像技术人员必须在不影响机器负荷,又能使胶片保持良好锐利度为原则来确定摄影距离。

在摄影时,医学影像技术人员可根据以下两点确定摄影距离。

(1)在X线机容量允许的条件下,尽量增大摄影距离,确保影像清晰。

(2)根据诊断的要求选择合适的摄影距离。

四、被照体对影像的影响

X线影像是被照体内部组织结构的投影,被照体的组织成分、密度、厚度以及对比剂的使用是形成照片密度和对比度的基础。照片密度随被照体密度、厚度的增加而降低。曝光条件应随被照体密度、厚度的增加而增加。照片对比度取决于被照体对X线的衰减程度,与组织的原子序数、密度、厚度有关。当机体的自然对比不良时,可以引入对比剂(硫酸钡、碘剂、气体等)增加人工对比,提高照片对比度。另外,机体的生理、病理状态不同(如呼吸状态、肌肉发达情况、积液、积气等),对照片密度和对比度也有一定的影响。医学影像技术人员需要调整合适的曝光条件,以获得适合的影像。

(一)组织的原子序数

在诊断放射学中,被照体对X线的吸收主要是光电吸收,特别是使用低管电压时,光电吸收随物质原子序数的增加而增加。

人体只有骨由含高原子序数的钙、磷、氧组成,所以骨能比肌肉、脂肪吸收更多的X线,与它们之间形成更高的对比度。要想发现较小的浸润性病灶,对照片质量就有很高的要求,而肺结核的钙化灶,即便比上述浸润性病灶小,但在摄影条件不太满意的照片上也可以被发现,这就是因为构成病灶的物质原子序数不同而产生了不同的对比度。

人体除骨及气体外,大部分是由水、蛋白质、脂肪及碳水化合物等组成的软组织,这些化合物的有效原子序数相差较少,对X线的吸收率较接近。因此,临床上可通过借助高原子序数的对比剂(如碘、硫酸钡等)、低密度的介质(如气体等)增加组织间的对比,提高照片对比度。

乳腺摄影只有使用低电压技术(40 kV以下),充分利用最大的光电效应才能显示乳腺的结构,否则将不产生对比度。

(二)组织的密度

被照组织的密度与X线的吸收成正比。组织的密度越大,X线吸收越多,照片密度越高,



而人体除骨外,其他组织的密度差别不大。由于肺在活体内是个充气组织,而气体密度较低,气体对 X 线的吸收是血液、肌肉等的千分之一,所以肺与其他组织可形成较高的对比度。

(三)组织的厚度

当被照体的密度、原子序数相同时,照片对比度受被照体厚度的影响。肢体厚度越大,吸收的 X 线越多,照片密度越低。

肺组织内出现气腔可造成组织厚度的差别。因为气体对 X 线几乎没有吸收,在组织中出现时就等于把厚度变薄,所以可以在影像上形成鲜明的对比度。



育德树人

根据以上所学,我们了解了影响 X 线影像的相关因素。作为医学影像技术人员,我们在实际工作中应利用“所学所得”,遵循理论与实际相结合的原则,树立“以人为本”的工作作风,具有辐射职业防护与安全意识,尽自己所能减少或避免影响 X 线影像的因素,以便获取符合临床诊断要求的医学影像资料。

第三节 数字 X 线摄影成像原理

数字 X 线摄影检查技术是在模拟 X 线摄影检查技术的基础上进行数字化成像和数字化图像处理的过程。数字 X 线摄影较模拟的 X 线摄影成像速度快,摄影参数采用自动曝光技术,宽容度大,辐射剂量低,图像密度分辨率高且层次丰富。数字 X 线摄影的成像介质是能进行数字化光电转换的探测器,能对图像进行多种后处理,数字图像有助于传输和会诊。数字 X 线摄影主要包括计算机 X 线摄影和数字化 X 线摄影,是目前医院内常用的影像检查方法,并已普及到社区和乡镇医疗机构。

一、计算机 X 线摄影

计算机 X 线摄影是一种用于放射学摄影的数字技术,是计算机数字图像处理技术与 X 线放射技术相结合而形成的一种先进的 X 线应用技术。它在原有的诊断 X 线机直接利用胶片成像的基础上,通过 A/D 转换(模数转换)和 D/A 转换(数模转换)进行实时图像数字处理,进而使图像实现了数字化。计算机 X 线摄影的出现打破了传统 X 线摄影的观念,实现了模拟 X 线图像向数字化 X 线图像的转变。数字化图像对骨结构、关节软骨及软组织的显示优于传统的 X 线图像,还可进行矿物盐含量的定量分析。

计算机 X 线摄影是利用含有光激励发光物质(photo stimulate luminescence,PSL)的成像板(image plate,IP)作为影像接收器取代屏-片系统的一种数字化摄影技术。自 20 世纪 70 年代开始被研究,到 20 世纪 80 年代初应用于临床,20 世纪 90 年代以后技术日益完善,